海底观测网的研究进展与发展趋势

李风华　路艳国*　王海斌　郭永刚　张 飞
中国科学院声学研究所 声场声信息国家重点实验室 北京 100190

摘要　海底观测网是人类观测海洋的新型平台，可实现海洋由海底到海面的全天候、原位、长期、连续、实时、高分辨率和高精度观测，对海洋科学发展起到重要的支撑作用。美国、加拿大、日本以及欧洲各国凭借在海洋领域的先发优势，纷纷投入巨资构建海底观测网并成功运行。在现代传感器、水下机器人、海底光纤电缆、物联网、大数据等新型技术的推动下，海底观测网呈现综合性立体观测、数据深度发掘、多种观测计划综合交叉融合的发展趋势。

关键词　海底观测，立体观测，美国海底观测网，加拿大海底观测网，地震和海啸海底观测密集网络

DOI　10.16418/j.issn.1000-3045.2019.03.010

传统的海洋观测主要是以调查船、潜浮标为主的海基观测或以卫星遥感、航空观测为基础的天基观测。由于海洋环境的复杂性和独特性，已有海洋观测数据存在的短暂、不连续等问题一直制约着海洋科学的发展。源自冷战时期美国海军水声监视系统的海底观测网是人类建立的第三种海洋科学观测平台。在现代传感器、水下机器人、海底光纤电缆、物联网、大数据等新型技术的推动下，海底观测网融合物理海洋、海洋化学、海洋地球物理、海洋生态等学科，解决深海、极端环境下高分辨率和实时获取海洋观测数据的技术难题，可以深入到海洋内部观测和认识海洋，实现从海底到海面全天候、长期、连续、综合、实时、原位观测。

美国、日本、加拿大以及欧洲各国的著名海洋研究机构一直引领海洋科学与技术的发展，凭借在海洋观测领域的先发优势，纷纷投入巨资开展海底观测网络关键技术研究，建设海底观测网络。我国在“十一五”“十二五”期间，陆续开展海底观测网试验节点关键技术的攻关，以及海底观测网试验系统的研究和建设工作（表 1）。鉴于当前海洋科技发展，在国务院 2013 年出台的《国家重大科技基础设施建设中长期规划（2012—2030 年）》中指出，将优先安排包括海底科学观测网在内的 16 项重大科技基础设施建设，为资源与能源开发、环境

*通讯作者
资助项目：国家高技术研究发展计划（2012AA09A400），国家重大科学仪器设备开发专项（2013YQ12035207）
修改稿收到日期：2019年3月7日

表 1　各国海底观测网现状

序号	名称		目标	规模	
				总长（km）	主基站
1	美国海底观测网（OOI）		① 海洋-大气交换 ② 气候变化，海洋环流和生态系统 ③ 湍流混合和生物物理相互作用 ④ 沿海海洋动力过程和生态系统 ⑤ 流体-岩石相互作用和海底生物圈 ⑥ 板块尺度地球动力学	880	7
2	加拿大海底观测网（ONC）		① 人类活动导致东北太平洋海洋变化 ② 东北太平洋及萨利什环境中的生命 ③ 海底-海水-大气之间的相互作用 ④ 海底过程及沉积搬运	850+	5
3	欧洲海底观测网（EMSO）		① 海洋生物的分布和丰富程度，海洋生产力、生物多样性、生态系统功能、生物资源、碳循环和气候反馈 ② 海洋酸化、水团动态、深海环流及海平面上升 ③ 斜坡不稳定、热液喷口、海啸、地震和火山事件		15
4	日本海底观测网	DONET	地震、海啸的实时观测和预警	300	7
		DONET2		450	7
		S-net		5 700	
5	中国南海海底观测网试验系统		关键技术突破，实现温、盐、流水文数据和地震、地磁的实时观测	150	1

监测和灾害预警预报、国家海洋安全等研究提供支撑。

1 海底观测网系统建设现状

1.1 美国海底观测网

美国国家科学基金会在 2016 年宣布，历时 10 年、耗资 3.86 亿美元的“海洋观测网”（OOI）计划正式启动运行。OOI 是一个长期的科学观测系统，由区域网（RSN）、近岸网（CSN）和全球网（GSN）三大部分构成（图 1）。850 个观测仪器分布式布放在大西洋和太平洋的观测系统中，包括 1 个由 880 km 海缆连接 7 个海底主节点（每个节点可提供 8 kW 能量和 10 Gb 带宽双向通讯）的区域观测系统、2 个近岸观测阵列以及4个全球观测阵列（由锚系、深海实验平台和移动观测平台构成）。OOI 系统实现海洋的观测范围从陆地延伸到深海，从海底到海面的全方位立体观测；实现从厘米级到百公里级，从秒级到年代级尺度过程的系统测量。该系统整体使用寿命大于 25 年，深入观测包括生物地球化学循环、渔业与气候作用、极端环境中的生命、板块构造过程、海洋动力、海啸在内的各种关键性海洋过程，观测结果可用于研究洋中脊、海气交换、气候变化、大洋循环、生态系统、湍流混合、水岩反应、地球动力学、地球内部构造和生物地球化学循环等科学问题。

OOI 系统正常运行以来获取的数据均向科学家、教育工作者以及公众免费开放，目前已经产生 2 500 多种科学数据产品，10 万多种科学与工程数据产品，而且可用的数据量、数据下载工具以及可进行数据处理的图像数量还在持续稳定增长。OOI 观测数据有效推动了海洋科学研究的进步，提

升科学家对海洋科学的认识；同时，一系列海洋观测数据可视化与视频推广也提高了公众对海洋的认识。

1.2 加拿大海底观测网

加拿大海底观测网（ONC）是由东北太平洋的NEPTUE Canada观测网（2009年建成）和VENUS海底实验站（2006年建成）在2013年合并组建而成（图2）。目前，ONC由维多利亚大学负责运营和管理。ONC的战略目标是：① 满足日益增长的用户需求；② 提供可靠的海洋观测技术与设备；③ 通过商业化运作和新技术研发，推动海洋观测技术不断革新。ONC系统通过对地震信号的实时监测、快速模拟计算提高了海啸预警能力，对海底多年的连续原位观测揭示了热通量在时间序列的变化与海底地震活动间的响应关系，以及海底地震活动、区域海洋学、风暴天气等对甲烷及其他化学参数的影响。

NEPTUNE Canada观测网由5个海底主节点（单个节点具有10 kW供电能力和2.5 Gb带宽数据传输能力）构成的800 km环形主干网络，覆盖了离岸300 km范围内从20—2 660 m不同水深的典型海洋环境。VENUS海底实验站位于萨利什海沿岸，搭载的传感器用于研究300 m水深内的海洋和生物作用以及三角洲动力学；同时，作为一个海洋技术实验平台，可以对海洋观测研究技术、设备进行原型测试。

位于维多利亚大学的运行管理中心汇集了ONC系统的观测数据，面向全世界用户免费开放，可提供每天24小时的实时数据传输服务，包括数字、图形、图像、视频在内的各类测量数据以及数据处理工具；同时，科学家可以和水下观测仪器进行交互，调整设备观测活动。

ONC主要利用海底光电缆构建的具备观测和数据采集、能源供给和数据传输、交互式远程控制、数据管理和分析等功能的软硬件集成系统，实现对不同深度的海底、地壳板块运动、生态环境变化、海洋生物

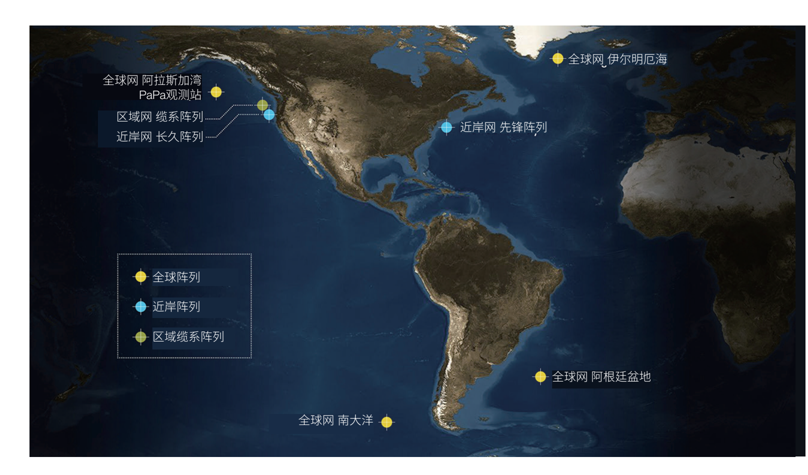


图1 美国海底观测网（OOI）
引自 https://oceanobservatories.org

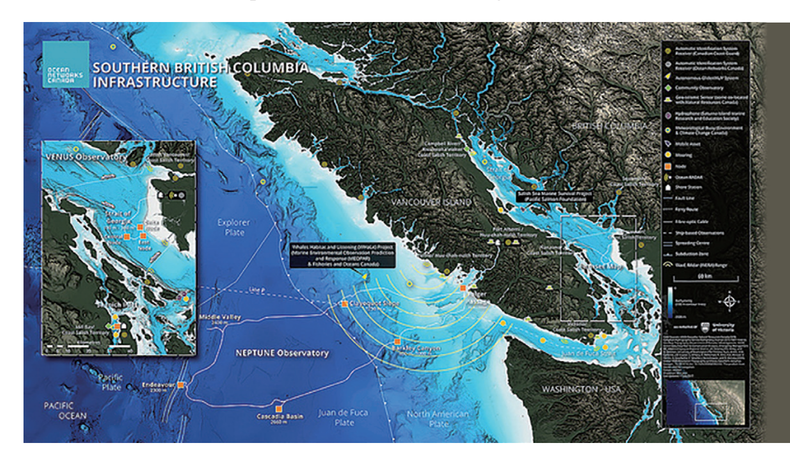


图2 加拿大观测网（ONC）
引自 http://www.oceannetworks.ca/

群落长期、实时、连续观测，并可通过互联网进行实时直播。ONC不仅为加拿大和世界各地的科研人员提供创新型研究平台，同时在诸如海洋和气候变化、地震和海啸、海洋污染、港口安全和海上运输、资源开发、国家主权与安全、海洋技术创新等方面发挥了重要作用。

1.3 欧洲海底观测网络

欧洲海底观测系统全称为欧洲多学科海底及水体观测系统（European Multidisciplinary Seafloor and Water-Column Observatory，EMSO)，是一个分布在欧洲的大范围、分散式科研观测设施（图3）。EMSO由一系列具有特定科学目标的海底及水体观测设施组成，主要用来实时、长期观测海洋岩石圈、生物圈、

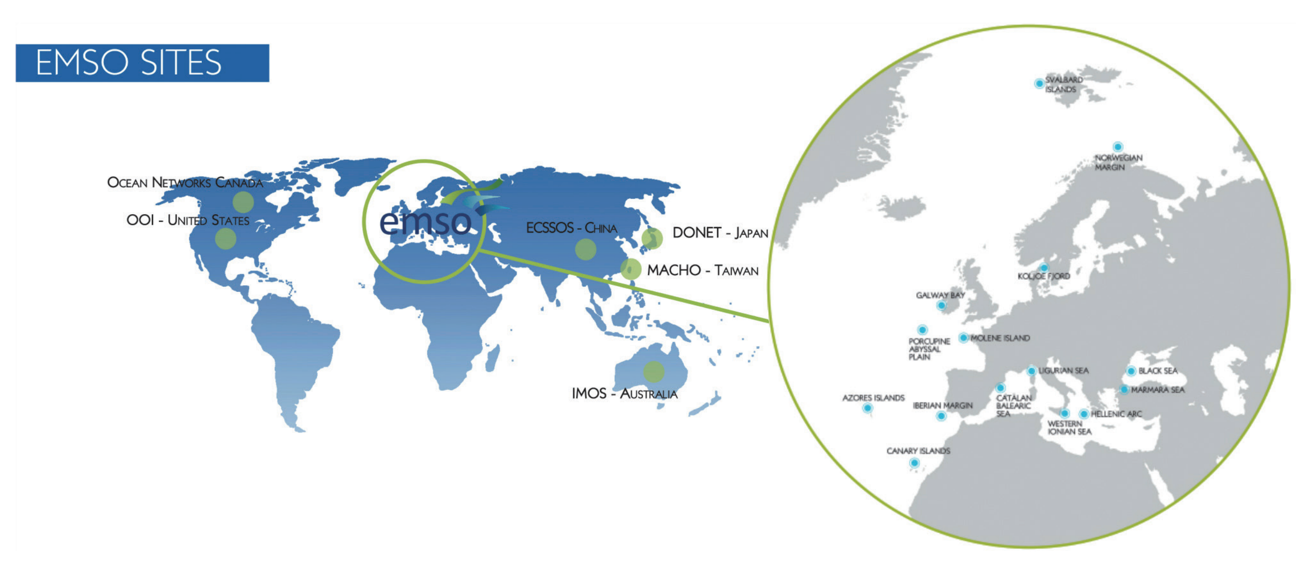


图 3 欧洲海底观测网络（EMSO）节点分布图
引自 http://www.emso-eu.org/

水圈的环境过程及其相互关系，服务于自然灾害、气候变化和海洋生态系统等研究领域。EMSO 由欧洲 13 个成员国共同承担，网络节点部署覆盖欧洲主要水域——从北冰洋穿过大西洋和地中海，一直到黑海，包含 11 个深海节点和 4 个浅海试验节点。EMSO 将成为 COPERNICUS（原 GMES-Global 环境安全观测系统）海底的一部分，将显著提高欧洲成员国的科学观测能力。

从技术角度来看，EMSO 最引人注目的特色是对海洋多学科、多目标、多时空尺度的观测研究。观测目标从海底、底栖生物、水柱和海洋表面。根据应用需求，海底原位观测设备和仪器通过连接光电复合缆，实现为海底仪器设备、固定观测平台和移动观测平台持续供电。目前，EMSO 受限于经费、环境许可等因素的影响，项目尚未全部完成，但部分测试点已在运行过程中，并获得了大量科研数据。

1.4 日本海底观测网络

作为一个地震多发国家，为实现对地震、海啸的实时观测和预警，日本先后建设了地震和海啸海底观测密集网络（DONET）、DONET 2 以及日本海沟海底地震海啸观测网（S-net）等海底观测网络，覆盖了日本从近岸到南海海槽的广大海域。

DONET 系统（地震和海啸海底观测密集网络）通过以 15—20 km 为间隔布设的 22 个密集观测点和以有线方式连接的部分综合大洋钻探计划（IODP）海底钻孔观测点，实现了观测数据的实时上传；DONET 2 系统由 450 km 光电复合缆、2 个登陆站，7 个科学节点和 29 个观测平台组成（图 4）。这两个系统覆盖了从近岸到海沟的广大海域，为日本南边海域的地震和海

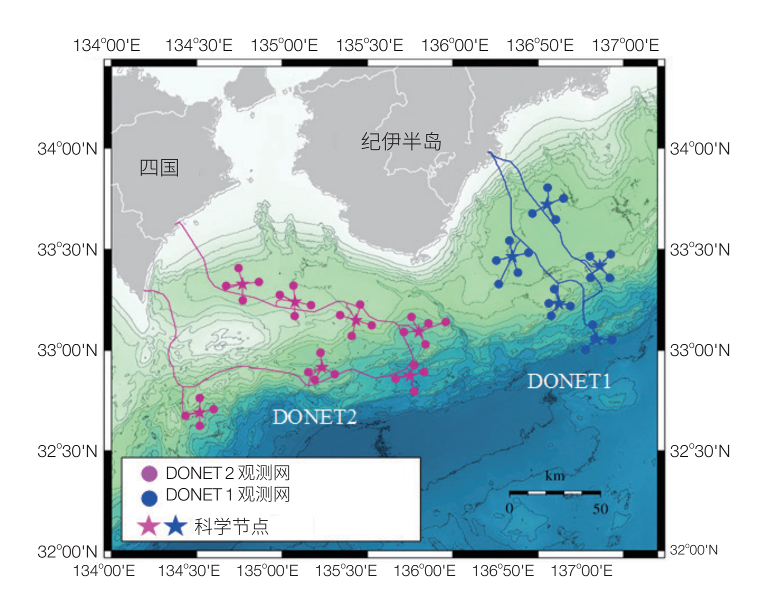


图 4 日本的 DONET1 和 DONET2 海底观测网
引自 http://www.jamstec.go.jp/donet/e

啸提供了海底预警装置，实现对日本东部海域地震情况的高精度、宽频带实时监测，并且和综合大洋钻探计划（IODP）相结合，为研究板块俯冲带的地震机制提供科学设施。

2015 年建成的 S-net 观测网（日本海沟海底地震海啸观测网）沿日本海沟布设，缆线总长 5 700 km，覆盖了从海岸到海沟总计 250 000 km^2 的广大区域（图 5）。该网由 6 个系统组成，每个系统包括 800 km 缆线和 25 个观测站，观测站之间南北相距约 50 km，东西相距约 30 km，做到每个里氏（M）7.5 级的地震源区有 1 个观测站。

以日本学者为主体的研究团队基于观测网数据开展了扎实的研究工作，通过对海底信号长期监测结果的研究分析，揭示了日本南部海槽板块构造的次级结构及其运动规律，暗示了孕震机制的新线索，推动了区域精细结构和地震机制的科学研究。通过对监测数据的数值模拟研究揭示出海底水压变化与海啸波高的关联，提高了海啸预警的实效性和精确度，使地震预警有望提前 30 s，海啸预警提前 20 min。

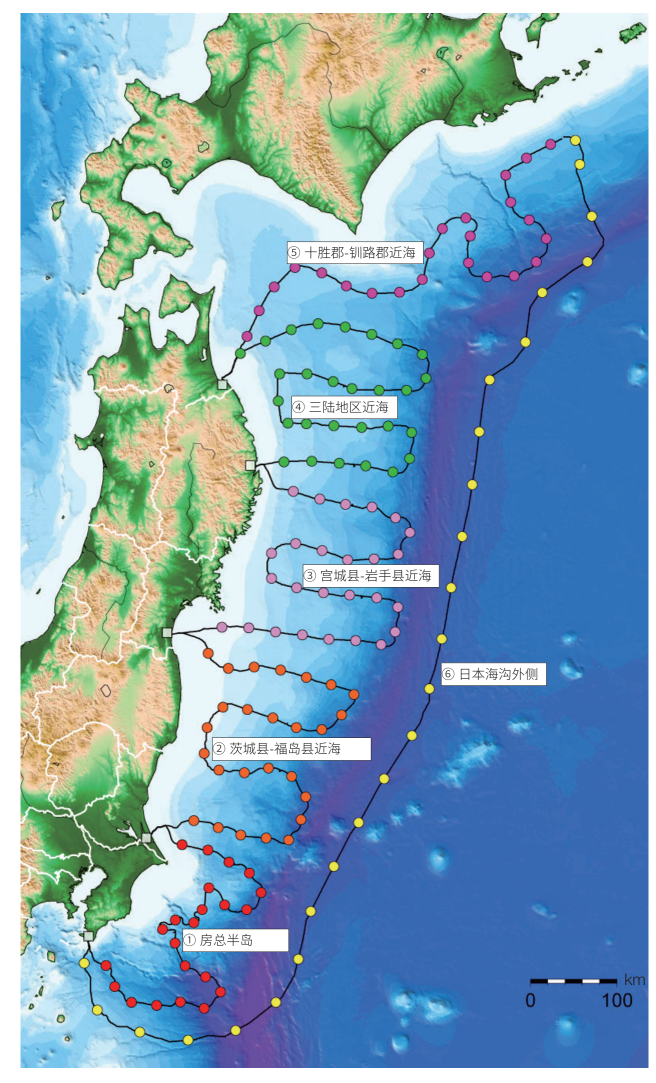


图 5 日本 S-net 海底地震海啸观测网
引自 http://www.seafloor.bosai.go.jp/S-net/

1.5 我国海底观测网技术发展

近十几年来，我国在国家“863”等计划和地方科技计划的推动下，开展了海底观测网关键技术和观测网试验系统相关研究，为我国海底长期观测网的建设提供了重要的技术储备和经验积累。

“十一五”期间，在科技部“863”计划的资助下，同济大学等高校承担了“海底长期观测网络试验节点关键技术”项目，研制完成的科学观测节点在美国蒙特里加速研究系统（MARS）系统开展了半年的海试。

“十二五”期间，中国科学院南海海洋研究所、中国科学院声学研究所、中国科学院沈阳自动化研究所联合研制的“南海海底观测实验示范网”在海南三亚海域建设完成。三亚海底观测示范系统由岸基站、海底光电缆（2 km）、水下节点（直流 10 kV）、3 套观测设备、含声学网关在内的 4 个观测节点构成，接驳盒布放水深 20 m。系统研制过程中在高压直流输配电技术、水下可插拔连接器应用技术、网络传输与信息融合技术、稳健的网络协议、水声通信网与主干网协同机制等方面取得了重要突破。

“十二五”期间，在科技部“863”计划的支持下，2012 年正式启动重大项目“海底观测网试验系统”。该项目由中国科学院声学研究所牵头，联合国内 12 家优势涉海研究机构共同承担，分别在我国南海和东海建设海底观测网试验系统。南海深海海底观测网试验系统以海南为岸基站，通过 150 km 海底光

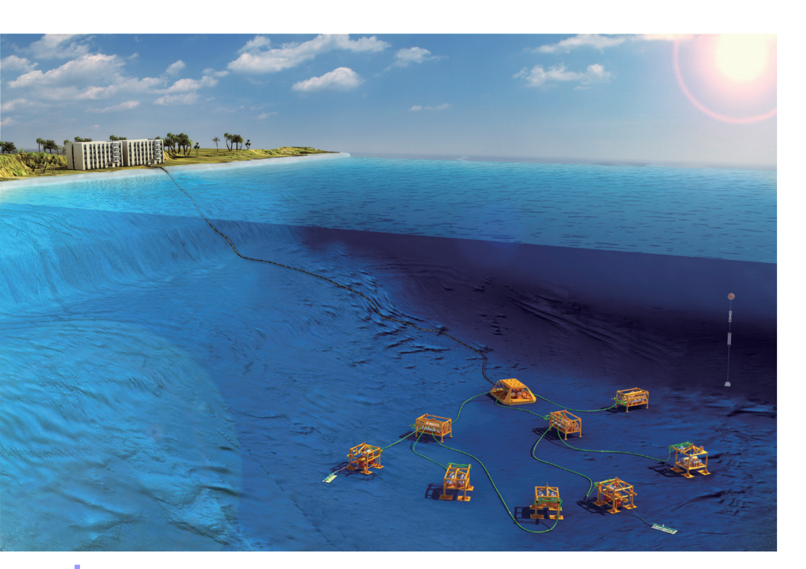


图6　中国南海深海海底观测网试验系统

电复合缆连接的多套海洋化学、地球物理和海底动力观测平台布放在水深1 800 m处（图6）。该系统自2016年9月建成运行以来，获取了近9 TB的海底视频、地球物理、海底动力及深海化学数据。系统运行以来观测到国际上多个地震信息，获取了相关海域温、盐、流的年度变化、地磁、硫酸根离子浓度以及深海生物视频。

南海深海海底观测网试验系统的建成，实现了观测网关键核心技术的自主可控，攻克了海底观测网总体技术、制定了我国首个海底观测网技术规范，突破了水下高电压（10 kV级）远程供电与通信（千兆级带宽）、大深度高精度（亚米级）定位布放与回收、深水高电压（10 kV级）光电复合缆、深水遥控无人潜水器（ROV）水下湿插拔作业、新型传感器（激光拉曼光谱仪、微颗粒流速仪）等多项关键技术，国产化率达到了90%。

东海浅海海底观测网以舟山为岸基站，布设33 km海底光电复合缆，实现海洋化学、物理海洋学、地球物理等多参数指标的原位、实时和高分辨率监测，积累了适用于东海宽陆架、高混浊、通航密度大等海区特点环境下的海底观测网布设工程以及海底海面设施安全防护的成熟技术与经验。

2 海底观测网发展趋势

海底观测网系统针对不同的观测需求，配置固定观测平台、表面锚系、自动升降剖面锚系、移动观测设备（无缆水下机器人、水下滑翔机）等观测平台；通过建设在海底的网络（光电缆）为观测设备/平台提供长期、持续的能源供给和信息传输通道，实现从海底到海面、从厘米级到百公里级、从秒级到年代级的系统观测。各国根据国情以国家需求为目标发展海底观测网技术，开展海底观测网建设。可以预见，在世界范围内海底观测网技术将日益受到重视，新时期海底观测网将呈现以下发展趋势。

2.1 综合性立体观测

建立分布式、网络化、互动式、综合性智能立体观测网是海洋科学观测的发展趋势。随着物联网技术在海洋领域的应用，通过统一、通用的数据标准整合分散在各处的观测站、观测节点、卫星遥感、无人水面艇等观测手段进行协同工作，形成覆盖近岸、区域及全球海域的层次化、综合化与智能化的空-天-海洋一体化立体观测网络。

基于海底观测网固定观测平台实现水下航行器的充电或信息交互接入，利用水声无线通信技术拓展观测范围，并对水下航行器进行导航、定位。充分发挥水下航行器机动、灵活的特点开展大尺度观测，针对目标海域的突发事件迅速响应和精细化高密度观测，利用水声无线可灵活部署的优点实现观测数据的实时传输。实现“有线与无线相结合、固定与移动相结合”，从观测空间范围和节点接入灵活性等方面显著拓展海底观测网的能力。

人工智能技术在海底观测网中的应用，突破传统海洋观测中人与机器交互方式，实现观测平台间的自动组网、自主观测，对观测数据进行科学、系统、可持续的处理，海底观测网将网络化、可视化和智能化。

2.2 海洋数据的深度发掘

数据中心是海底观测网的神经中枢，汇集海底视频、地球物理、海底动力及海洋化学等多学科海洋观测数据，实现在时间、区域和空间等尺度的交互融合和地理关联。数据本身的时间属性、空间属性、传感器的多通道特征以及科学数据分析伴随原理模型导致观测数据处理分析异常复杂，其内在机理和新的发现需要深入研究。

多元、立体、实时观测数据以每年PB级增长。为实现海洋数据从“数据大”到“大数据”的转变，需开展海洋观测、机理、预测三位一体的研究。充分利用大数据、“互联网+”、人工智能、交互可视等多学科高新技术对海洋数据进行深度发掘，揭示海洋现象后面的运行机理；利用真实数据建立海洋系统的各类模型，模拟预测海洋空间发展变化情况，对人类活动和决策进行指导；同时，利用观测数据提升模型的准确程度和预测能力，为海洋认知、防灾预警、资源利用、仪器研发提供支撑服务。

2.3 多种观测计划综合交叉融合发展

为满足在海洋科学研究、灾害研究和预报、环境监测和生态保护、能源资源开发利用及海洋安全的需求，近年来世界许多国家和地区纷纷加强了对深海技术的研发，先后有针对性地推出和实施了热带海洋与全球大气实验计划（TOGA）、综合大洋钻探计划（IODP）、国际大洋中脊计划（InterRidge）、Argo计划等一系列的深海、远洋探测和考察计划，新的综合性研究计划还将不断涌现。

学科间的交叉融合往往导致重大科学发现和新兴学科的产生，也是科学研究中最活跃的部分之一。海底观测网观测计划与国际综合性研究计划相融合，对于整个国际深海技术的发展也起到了至关重要的推动作用。IODP的海底钻孔观测点以有线方式接入日本的DONET观测网，实时获取太平洋板块俯冲地震带数据，对地震预警及揭示地震机理具有重要的意义。

全球海洋观测系统（GOOS）由联合国政府间海洋学委员会（IOC）、世界气象组织、联合国环境规划署等联合发起建立，是当前全球最大、综合性最强的海洋观测系统。该系统集成观测卫星、浮标等多种传感器并实现全球业务化运营。各海洋强国基于GOOS积极发展和建设海洋观测系统，如欧洲已成立了欧洲海洋观测系统（EUROGOOS），美国和加拿大联合建立了美加GOOS。

3 结语

面对世界海洋科技的发展趋势以及国家海洋安全、经济社会发展对海洋科技的强烈需求，世界各临海国家纷纷推出了海洋发展战略和海洋科技发展规划，加大海洋科技研究与开发的投入力度。如：美国的“美国海洋行动计划”、英国的“海洋科学战略2010—2025”、加拿大的“加拿大海洋行动计划”、俄罗斯的“2020年前俄罗斯联邦海洋学说”、日本的“海洋基本计划”、韩国的“韩国21世纪海洋”等。

中国海洋科技的发展与美国、日本等海洋强国相比仍有较大差距，《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》《中国至2050年海洋科技发展路线图》和《未来10年中国学科发展战略：海洋科学》对我国海洋科技发展进行了预测和规划，并对关键领域的科学问题研究进行了前瞻布局；其中，海洋的海底观测网络建设将成为未来海洋科技发展的重要技术支撑。

国际上的OOI、ONC、DONET、S-net等海底观测网均已建成运行。我国在海底观测网系统的建设过程中，应根据我国的实际情况，充分借鉴国际海底观测网系统建设、数据管理及运行经验，主要包括以下3个方面。

（1）根据“海洋强国”“一带一路”“海陆统

筹”等国家战略和倡议，结合现有技术基础，面向国家重大需求，充分考虑大型海底观测网长期运行情况，合理选择观测站点和配备探测仪器，创造性地解决数据质量控制、跨学科数据管理、安全防护等问题，建立开放共享的数据管理理念，为全方位数据挖掘、应用奠定基础。

（2）以海底观测网建设为平台，联合研究所、高校、企业等行业优势单位，发挥学科技术优势，系统解决基础平台建设中关键器件、信息感知和数据传输等面向国家重大需求关键技术，提高海洋数据感知—传输—处理—应用能力，构建一支高效稳定的海底观测科研团队和技术人才梯队。

（3）加强顶层协调和设计，建立海底观测网标准化体系。海底观测网缺乏相关标准，现有标准难以应对海洋观测技术、物联网技术、大数据技术、人工智技术等应用在海底观测网建设中面临的突出问题，迫切需要海底观测网标准的支持。同时，通过标准化实现国际同类装置的互联互通，推动中国的海洋装备、技术和服务“走出去”。

参考文献

1 尹路, 李延斌, 马金钢. 海洋观测技术现状综述. 舰船电子工程, 2013, 33(11): 4-7.

2 汪品先. 从海底观察地球——地球系统的第三个观测平台. 自然杂志, 2007, 29(3): 125-130.

3 陈鹰, 杨灿军, 陶春辉, 等. 海底观测系统. 北京: 海洋出版社, 2006: 68-69.

4 申中寅. 日本海洋实时监测系统DONET简介. 国际地震动态, 2018, 475(7): 34-40.

5 冷疏影, 朱晟君, 李薇, 等. 从“空间”视角看海洋科学综合发展新趋势. 科学通报, 2018, 63(31): 3167-3183.

6 李风华, 郭永刚, 吴立新, 等. 海底观测网技术进展与发展趋势. 海洋技术学报, 2015, 34(3): 33-35.

7 朱俊江, 孙宗勋, 练树民, 等. 全球有缆海底观测网概述. 热带海洋学报, 2017, 36(3): 20-33.

8 中华人民共和国国务院. 国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）. [2006-02-09]. http://www.gov.cn/jrzg/2006-02/09/content_183787.htm.

9 郭华东. 科学大数据——国家大数据战略的基石. 中国科学院院刊, 2018, 33(8): 768-773.

10 彭晓彤, 周怀阳, 吴邦春, 等. 美国MARS海底观测网络中国节点试验. 地球科学进展, 2011, 26(9): 991-996.

11 上海海洋科技研究中心, 海洋地质国家重点实验室. 海底观测：科学与技术的结合. 上海: 同济大学出版社, 2011.

12 中国科学院. 中国至2050年海洋科技发展路线图. 北京: 科学出版社, 2009.

13 王修林, 王辉, 范德江. 中国海洋科学发展战略研究. 北京: 海洋出版社, 2008.

14 马伟锋, 崔维成, 刘涛, 等. 海底电缆观测系统的研究现状与发展趋势. 海岸工程, 2009, 28(3): 76-84.

Research Progress and Development Trend of Seafloor Observation Network

LI Fenghua LU Yanguo* WANG Haibin GUO Yonggang ZHANG Fei

(State Key Laboratory of Acoustics, Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract The seafloor observation network is a new platform for human observation of the ocean. It enables all-weather, in-situ, long-term, continuous, real-time, high-resolution and high-precision observation of the ocean from the sea floor to the sea surface, which plays an important role in supporting the development of marine science. With the first-mover advantage in the marine field, the United States, Canada, Japan, and European countries have invested heavily in building submarine observation networks and have already successfully operated them. Driven by new technologies such as modern sensors, underwater robots, seafloor fiber optic cables, Internet of Things (IoT), and big data, the submarine observation network presents a trend of comprehensive stereoscopic observation, deep mining of ocean data, and comprehensive cross-fusion of multiple observation plans.

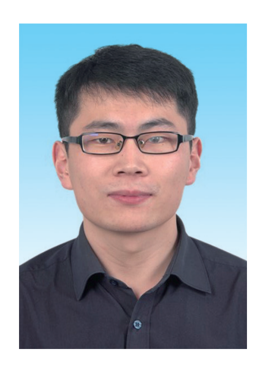
Keywords seafloor observation, stereoscopic observation, Ocean Observation Initiative, Ocean Net-work Canada, Dense Ocean-floor Network System for Earthquakes and Tsunamis



李风华 中国科学院声学研究所副所长，研究员。西太平洋声学委员会主席，中国声学学会副理事长。从事水声物理、水声探测新原理与新算法、海洋探测理论与技术等研究工作。负责多项国家科技项目。获2012年度国家自然科学基金委国家杰出青年科学基金资助。2013年入选首批国家高层次人才特殊支持计划（万人计划）科技创新领军人才。E-mail: lfh@mail.ioa.ac.cn

LI Fenghua Deputy Director, Research Fellow of Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences (CAS). He also serves as Chairman of the Western Pacific Commission for Acoustics and Vice Chairman of the Acoustical Society of China. He has engaged in underwater acoustic physics, new principles and algorithms for underwater acoustics detection, ocean observation theory and technology, etc., and hosted a number of national science and technology projects. In 2012, he was awarded the National Science Fund for Distinguished Young Scholars by National Natural Science Foundation of China. He was selected as Science and Technology Innovation Leader of the first batch of National High-level Talent Special Support Plan (Ten-Thousand Talent Program) in 2013. E-mail: lfh@mail.ioa.ac.cn

*Corresponding author



路艳国 中国科学院声学研究所工程师。曾参与"十二五"国家"863"计划重大项目"海底观测网试验系统"、自主水下机器人、载人潜水器等项目的研制，目前参与国家重大科技基础设施海底科学观测网项目的研发工作。E-mail: luyanguo@mail.ioa.ac.cn

LU Yanguo Engineer, Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences. He participated in R & D of the "Seafloor Observation Network Pilot System", "Autonomous Underwater Vehicle (AUV)", "Human Occupied Vehicle (HOV)", and other major projects of the National High Technology Research and Development Program of China ("863" Program) during 12th Five-Year Plan. He is currently involved in the research and development of the Seafloor Observation Network of Major Scientific and Technological Infrastructure.
E-mail: luyanguo@mail.ioa.ac.cn

■责任编辑：岳凌生

参考文献（双语版）

1 尹路, 李延斌, 马金钢. 海洋观测技术现状综述. 舰船电子工程, 2013, 33(11): 4-7.

Yin L, Li Y B, Ma J G. Present status of marine observation technology. Ship Electronic Engineering, 2013, 33(11): 4-7. (in Chinese)

2 汪品先. 从海底观察地球——地球系统的第三个观测平台. 自然杂志, 2007, 29(3): 125-130.

Wang P X. Seaflooor observatories: The third platform for earth system observation. Chinese Journal of Nature, 2007, 29(3): 125-130. (in Chinese)

3 陈鹰, 杨灿军, 陶春辉, 等. 海底观测系统. 北京: 海洋出版社, 2006.

Chen Y, Yang C J, Tao C H, et al. Seabed Observation System. Beijing: China Ocean Press, 2006: 68-69. (in Chinese)

4 申中寅. 日本海洋实时监测系统DONET简介. 国际地震动态, 2018, 48(7): 34-40.

Shen Z Y. A brief introduction to DONET in Japan. Recent Developments in World Seismology, 2018, 475(7): 34-40. (in Chinese)

5 冷疏影, 朱晟君, 李薇, 等. 从“空间”视角看海洋科学综合发展新趋势. 科学通报, 2018, 63(31): 3167-3183.

Leng S Y, Zhu S J, Li W, et al. Towards a comprehensive development of the marine science: A reflection from the spatial perspective. Chinese Science Bulletin, 2018, 63(31): 3167-3183. (in Chinese)

6 李风华, 郭永刚, 吴立新, 等. 海底观测网技术进展与发展趋势. 海洋技术学报, 2015, 34(3): 33-35.

Li F H, Guo Y G, Wu L X, et al. Technological progress and development trend of ocean bottom observatory network. Journal of Ocean Technology, 2015, 34(3): 33-35. (in Chinese)

7 朱俊江, 孙宗勋, 练树民, 等. 全球有缆海底观测网概述. 热带海洋学报, 2017, 36(3): 20-33.

Zhu J J, Sun Z X, Lian S M, et al. Review on cabled seafloor observatories in the world. Journal of Tropical Oceanography, 2017, 36(3): 20-33. (in Chinese)

8 中华人民共和国国务院. 国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）. [2006-02-09]. http://www.gov.cn/jrzg/2006-02/09/content_183787.htm.

The State Council of the PRC. Outline of the national medium- and long-term science and technology development plan (2006—2020). [2006-02-09]. http://www.gov.cn/jrzg/2006-02/09/content_183787.htm. (in Chinese)

9 郭华东. 科学大数据——国家大数据战略的基石. 中国科学院院刊, 2018, 33(8): 768-773.

Guo H D. Scientific big data—A footstone of national strategy for big data. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2018, 33(8): 768-773. (in Chinese)

10 彭晓彤, 周怀阳, 吴邦春, 等. 美国MARS海底观测网络中国节点试验. 地球科学进展, 2011, 26(9): 991-996.

Peng X T, Zhou H Y, Wu B C, et al. Test China node on Monterey Accelerated Research System (MARS). Advances in Earth Science, 2011, 26(9): 991-996. (in Chinese)

11 上海海洋科技研究中心（筹）, 海洋地质国家重点实验室（同济大学）. 海底观测：科学与技术的结合. 上海: 同济大学出版社, 2011.

Shanghai Marine Science and Technology Research Center, State Key Laboratory of Marine Geology. Seafloor Observations: Combining Science and Technology. Shanghai: Tongji University Press, 2011. (in Chinese)

12 中国科学院海洋领域战略研究组. 中国至2050年海洋科技发展路线图. 北京: 科学出版社, 2009.

Chinese Academy of Sciences. China's Development Roadmap for Marine Science and Technology to 2050. Beijing: Science Press, 2009. (in Chinese)

13 王修林, 王辉, 范德江. 中国海洋科学发展战略研究. 北京: 海洋出版社, 2008.

Wang X L, Wang H, Fan D J. Research on China's Marine Science Development Strategy. Beijing: China Ocean Press, 2008. (in Chinese)

14 马伟锋, 崔维成, 刘涛, 等. 海底电缆观测系统的研究现状与发展趋势. 海岸工程, 2009, 28(3): 76-84.

Ma W F, Cui W C, Liu T, et al. Present status and development tendency of submarine cable-connected observation system. Coastal Engineering, 2009, 28(3): 76-84. (in Chinese)